



DIRECTIVA 98/24/CE DE AGENTES QUÍMICOS EVALUACIÓN DE RIESGOS DE REACCIONES QUÍMICAS

La Directiva 98/24/CE, relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los Agentes Químicos durante el trabajo, exige que los riesgos que presenta una reacción química o la inestabilidad química de un reactivo, producto intermedio o producto final, sean identificados y evaluados. Ello incluye conocer las consecuencias de una reacción descontrolada (runaway). El texto requiere que este objetivo se alcance mediante una evaluación de riesgos seguida, en caso necesario, de un análisis experimental los datos necesarios que permitan asegurar la reacción.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de la Directiva de Agentes Químicos 1198/24/EC (DAQ en lo sucesivo) es consolidar los diferentes textos legales existentes relacionados con la manipulación de sustancias peligrosas, y en concreto de sustancias inflamables, así como los riesgos derivados de las reacciones químicas, que hasta la fecha se encontraban dispersos en cierto grado.

La DAQ también completa la Directiva de Atmosferas Explosivas (1999/92/EC), conocida como ATEX 137. Ambas directivas se refieren a los riesgos derivados de las atmosferas potencialmente explosivas. Sin embargo, a diferencia de ATEX 137, que se centra en condiciones ambientales de temperatura y presión y la consideración del aire como agente oxidante, la DAQ amplía el espectro, incluyendo temperaturas y presiones elevadas, así como los efectos de cualquier oxidante, como por ejemplo el cloro. Ello significa que las directivas DAQ y ATEX proporcionan un marco coherente para controlar los riesgos derivados de:

- Sustancias con propiedades inflamables, explosivas y oxidantes.
- Sustancias que pueden crear atmosferas explosivas.
- Actividades del trabajo que implican otras sustancias que pueden causar un incendio, explosión o sucesos que liberen una cantidad de energía similar, como las *reacciones runaway*, la *descomposición de sustancias inestables* y las *explosiones de nubes de polvo*.

Obviamente, si se manipulan sustancias químicas reactivas, según DAQ se deberá llevar a cabo una Evaluación de Riesgos de la Reacción Química y demostrar que se conocen las propiedades físico-químicas de las sustancias que se manejan así como su impacto potencial sobre la seguridad. Cuando se instalan medidas de protección frente a la sobrepresión de reacciones químicas runaway, como venteos de emergencia, será necesario demostrar que éstas se han diseñado de acuerdo a las mejores prácticas disponibles. El venteo de emergencia es un método de protección que requiere de un estudio exhaustivo llevado a cabo por un especialista para cumplir los requisitos de diseño desarrollados por el Design Institute for Emergency Relief Systems (DIERS).

DÓNDE SE ORIGINA EL RIESGO

Si se desea cumplir de forma correcta con DAQ y ATEX es necesario comprender dónde se origina el riesgo. Con los procesos químicos, el riesgo se origina fundamentalmente cuando la presión aumenta en un recipiente cerrado o poco ventilado. Esta presión puede originarse debido a:

- Reacciones que implican una liberación de gases no condensables.
- Reacciones exotérmicas que pueden generar presión suficiente a partir de vapor en un sistema cerrado a temperaturas fuera del rango normal de funcionamiento.

El resultado final de un proceso de este tipo es la potencial explosión, que puede tener como consecuencias daños o muerte de los trabajadores, daños medioambientales, pérdidas económicas y responsabilidades legales.

Por desgracia tales acontecimientos no son infrecuentes y la UE publica constantemente datos de accidentes en la industria química. En la tabla que se muestra a continuación se recogen los principales procesos donde ocurren incidentes y su porcentaje respecto al total.

Es evidente que conceptos como establecer procedimientos básicos para la evaluación de riesgos en reacciones químicas, adoptar medidas de seguridad y mantener las plantas en operación segura son necesarios para evitar que se repitan estos errores.

PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

La Directiva de Agentes Químicos (DAQ) 98/24/EC especifica que debe llevarse a cabo una evaluación de riesgos sobre todos los procesos químicos. Esto incluye operaciones en continuo, batch y semi-batch. Debido a que los riesgos generados en procesos en continuo son habitualmente menores que los causados en procesos batch y semi-batch, lo cual es debido a un menor inventario de reactivos, es necesario prestar especial atención a los procesos en batch y semi-batch, que suponen los procesos más frecuentes en la industria química fina y farmacéutica.

Idealmente la evaluación debería formar parte del desarrollo del proceso, que comienza en el Laboratorio de Investigación y Desarrollo. No deben olvidarse los aspectos específicos de seguridad de la planta en las fases anteriores a la realización del análisis de riesgos HAZOP, el cual acostumbra a llevarse a cabo cuando se han establecido el diseño y la implantación de la planta.

Las medidas de seguridad deben haber sido definidas con anterioridad a esta fase de forma que puedan ser consideradas en el HAZOP. Antes de que haya finalizado el diseño de la planta se deberá realizar una evaluación de riesgos de los peligros de las reacciones químicas para que se puedan incorporar las medidas de seguridad que se definan durante la misma.

La evaluación de riesgos de una reacción química puede dividirse en siete etapas:

Recopilación inicial de datos

Tan pronto como se haya identificado una ruta de síntesis deberán recopilarse los datos sobre la estabilidad térmica de los reactivos y los productos. Ello puede incluir también la recopilación de datos de toxicidad, inflamabilidad y reactividad. Si en esta fase la evaluación identifica condiciones o propiedades potencialmente peligrosas, DAQ y ATEX indican que se debería considerar emplear materiales o procesos menos peligrosos.

Ensayos screening

Se deben llevar a cabo cálculos computacionales del calor de reacción, cálculos de balance de oxígeno, así como pruebas de escalado cuando la escala de fabricación sea mayor a 500 ml (incluyendo disolventes). Esto permite la detección inicial de potenciales explosivos y sustancias altamente reactivas. En esta fase también se recopilarán los datos experimentales del calor de reacción.

Estudios previos a la planta piloto

Antes de llevar a cabo la reacción en la planta piloto debe identificarse la base de seguridad. Ello requiere un estudio en profundidad del proceso propuesto y de la implantación prevista para la planta. Las condiciones de fallo en el proceso deben ser identificadas y estudiadas de forma experimental. Es entonces cuando se puede definir la base de seguridad (ej. venteo de reactores, etc.) junto con las medidas de control de proceso.

Fabricación a escala de planta

El proceso puede haber variado ligeramente durante los estudios en planta piloto. Es por ello que deberá evaluarse cualquier modificación y adaptar la base de seguridad en consecuencia.

Puesta en marcha

Una vez se ha definido el proceso se deberá realizar una comprobación final de la instalación de los dispositivos de seguridad antes de la puesta en marcha.

Modificaciones

Debe evaluarse el efecto de cualquier modificación del sistema de seguridad o base de seguridad. En caso necesario se deberían llevar a cabo estudios experimentales adicionales.

Comprobaciones en fase de funcionamiento

Deberán llevarse a cabo comprobaciones periódicas para asegurar que el sistema de seguridad trabaja en perfectas condiciones.

RIESGOS DE LAS SUSTANCIAS DEL PROCESO

Los riesgos de reactividad pueden ser debidos tanto por una sustancia determinada como por una reacción exotérmica. Los riesgos de incendio y explosión relacionados con nubes de gas, vapor o polvo deben estar siempre debidamente protegidos o prevenidos preferiblemente. Es esencial la evaluación del riesgo de incendio y explosión de la/s sustancia/s del proceso. Del mismo modo, las propiedades de inestabilidad térmica de las sustancias manejadas deben ser conocidas y cuantificadas.

Varios tipos de sustancias, ya sea en fase gaseosa, líquida o sólida, tienden con frecuencia a la descomposición, la oxidación o la desagregación. En los sólidos esto puede suponer una situación especialmente peligrosa si la sustancia es explosiva. Las propiedades explosivas deben identificarse en una primera fase del desarrollo del

proceso, a ser posible antes de que la escala de fabricación supere los 10g. También deberían identificarse en las primeras fases del diseño del proceso otras reacciones de descomposición o de gran inestabilidad térmica.

Se puede identificar un indicio de inestabilidad térmica en cualquier sustancia incluso antes de que ésta haya sido sintetizada. Se puede hacer una verificación preliminar de la estructura molecular para identificar grupos reactivos o grupos de inestabilidad conocida. Las técnicas numéricas, como el cálculo del equilibrio de oxígeno, también pueden resultar de utilidad. También pueden obtenerse otros datos sobre la estabilidad térmica de una nueva sustancia mediante la comparación con compuestos similares.

En caso de que dicho análisis sugiera la posibilidad de propiedades explosivas, el material deberá ser manejado con sumo cuidado hasta que se lleven a cabo los ensayos a pequeña escala, o hasta que se hayan llevado a cabo pruebas de clasificación de explosividad.

CARACTERÍSTICAS DE LA REACCIÓN EXOTÉRMICA

Una reacción exotérmica no necesariamente resulta en una reacción de tipo runaway. Es posible extraer fácilmente el calor de un sistema si el sistema de refrigeración asociado tiene capacidad para extraer más calor del que se genera.

Los dos parámetros críticos de los procesos exotérmicos son:

- **Termodinámica:** magnitud del cambio energético asociado con la reacción o descomposición.
- **Cinética:** la tasa de cambio energético, es decir, la tasa de emisión de calor.

Aspectos termodinámicos de Reacciones Exotérmicas

En cualquier reacción o descomposición química se rompen y se crean enlaces químicos. Puesto que cada enlace tiene una energía diferente, una reacción podrá o bien absorber energía (proceso ENDOTÉRMICO) o bien liberar energía (proceso EXOTÉRMICO). El intercambio total de energía en una reacción se llama CALOR DE REACCIÓN (ΔH_r en $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$). Para un proceso endotérmico, ΔH_r es positivo, para un proceso exotérmico, ΔH_r es negativo.

El calor de reacción puede relacionarse con el aumento de temperatura que tendrá lugar debido a la reacción (en condiciones de pérdida de calor cero), mediante:

$$\Delta H_r = M \cdot C_p \cdot \Delta T_{ad}$$

Así, la termodinámica nos permite predecir la magnitud de un evento exotérmico (aunque no ofrece información sobre la velocidad de la reacción). Se listan a continuación algunos ejemplos de calor de reacción:

PROCESO QUÍMICO	CALOR DE REACCIÓN ($\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$)
Neutralización ácido-base	- 60
Esterificación (metanol - Anhídrido acético)	- 67
Diazotización (clorhidrato de amina)	- 117
Reacción de Grignard	- 350

Nota: El cálculo no puede predecir lo que ocurrirá a temperaturas elevadas. Podrían desencadenarse reacciones secundarias que compliquen la exotermia natural del proceso.

Aspectos cinéticos de las reacciones exotérmicas

Aunque la magnitud de una reacción exotérmica puede ser muy elevada, si la reacción es muy lenta puede que esto no suponga un problema. La constante cinética de una reacción química depende de la temperatura, dependencia que ilustra la ecuación de Arrhenius:

$$k = A \cdot \exp^{(-E/RT)}$$

El grado de producción de calor está relacionado con la constante cinética de la reacción mediante:

$$dQ/dt = k \cdot \Delta H_r \cdot M$$

Son los aspectos cinéticos de la reacción los que definen el grado de producción de calor, y por tanto, la capacidad necesaria de eliminación del calor para evitar que ocurra una reacción runaway.

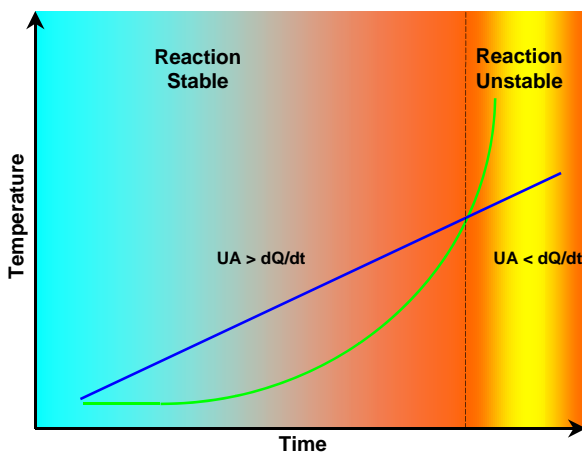
Características de la capacidad de enfriamiento

La capacidad de enfriamiento de un reactor varía de forma aproximadamente lineal con la temperatura. La capacidad de enfriamiento (dQ/dt) está relacionada con el coeficiente de transferencia de calor, el área de la superficie de enfriamiento y la diferencia de temperatura entre el refrigerante y el contenido del reactor.

$$dQ/dt = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Reacciones Runaway

Consecuentemente podemos igualar la generación de calor de la reacción con la extracción de calor de la instalación de refrigeración para así predecir la aparición de una reacción runaway (por ejemplo, si se produce una subida inesperada de la temperatura).



Es por este motivo que una definición de reacción runaway podría ser:

"Situación en la que se da, para un determinado proceso químico, una generación progresiva de calor debido a que la tasa de producción de calor es superior a la tasa de eliminación de calor"

En general, las reacciones runaway se producen debido a un fallo en la operación (por ejemplo, pérdida temporal de alimentación de refrigerante, carga errónea de los reactivos, fallo en la agitación

durante una operación de adición controlada seguido de un arranque sin que se complete la adición, etc.).

Generación de presión durante una Reacción Runaway

Una reacción runaway no tiene por qué causar una situación de peligro. El peligro surge cuando se genera presión a causa de la reacción, lo que puede suceder por tres razones:

- **Generación permanente de gas:** La reacción o descomposición supone la generación permanente de un gas (no condensable) que no se ventea adecuadamente o en absoluto, lo que lleva a un aumento progresivo de la presión, hasta que el recipiente o una parte del mismo se rompe. Debe considerarse que aunque la reacción deseada no produzca gas, es posible que se den reacciones secundarias a temperaturas elevadas durante la reacción runaway que sí que puedan causarlo.
- **Generación de presión de vapor:** La presión que se crea en un reactor se genera a partir del vapor que se produce a temperaturas elevadas. Cuanto mayor sea la temperatura, mayor será la presión.
- **Sistemas híbridos:** Aquellos en los que se genera gas incondensable por reacción o descomposición y vapor debido a temperaturas elevadas. A menudo sucede que una reacción runaway (de tipo con presión del vapor) lleva a una reacción de descomposición que genera gas permanente a temperaturas elevadas.

Es importante conocer el mecanismo de generación de presión, puesto que puede afectar enormemente al área de descarga de emergencia necesaria para aliviar dicha presión. Se pueden analizar fácilmente los datos recopilados a partir de ensayos en condiciones estancas, y de esta manera poder distinguir entre los efectos de presión del gas y del vapor.

Pérdida de calor y cambio de escala

Hasta el momento se ha considerado que todo el calor generado por una reacción química solamente produce un calentamiento de la masa de reacción. En los casos reales esto no es así, puesto que el calor también se transfiere a:

- El reactor, y
- El ambiente alrededor del reactor.

Ambos factores deben ser considerados a la hora de realizar estudios en el laboratorio.

Transferencia de calor al reactor - El factor Phi

La fracción de calor que se consume en el reactor depende de su capacidad calorífica (esto es, cuánta energía se necesita para elevar su temperatura en relación a la masa de reacción).

La influencia del recipiente en la medida de la pérdida de calor hacia el mismo se representa mediante el factor PHI (Φ) según:

$$\Phi = \frac{(m \cdot C_p)_{\text{Muestra}} + (m \cdot C_p)_{\text{Recipiente}}}{(m \cdot C_p)_{\text{Muestra}}}$$

Cabe destacar que esta ecuación no tiene en cuenta el calor que se transfiere al ambiente. Para reactores con escala industrial el factor PHI es bajo, normalmente entre 1.0 y 1.2. Los equipos de laboratorio usados para cuantificar los riesgos derivados de una reacción deberían ser capaces de simular estos bajos valores de PHI ya que,

en caso contrario, los datos pueden llevarnos a error por los motivos siguientes:

- El periodo de inducción de una reacción runaway aumentará.
- La tasa de reacción se reducirá.
- La magnitud de la exoterminia será menor.
- Las mediciones de los efectos de la presión serán menores.
- Se diseñará un sistema con una capacidad de descarga menor de lo requerido.
- Se diseñará un sistema de control inadecuado.
- Podría ocurrir que nos se detectasen riesgos derivados de reacciones secundarias de descomposición que pudieran darse a altas temperaturas.

Transferencia de calor al medio

La transferencia de calor al medio viene dada fundamentalmente por la relación volumen / área de la superficie del recipiente considerado. Se observa que, a medida que aumenta la escala, disminuye la tasa de enfriamiento.

El efecto global del cambio de escala en la transferencia de calor, debido tanto a la inercia térmica como a la transferencia de calor al medio, se ilustra a continuación al medir el tiempo que tarda un recipiente con agua a 80°C en disminuir su temperatura 1°C.

	Recipiente	Tiempo
Escala de planta	Reactor de 2.5 m ³	21 minutos
	Reactor de 12.7 m ³	59 minutos
	Reactor de 25 m ³	233 minutos
Escala de laboratorio	Vaso de precipitados de vidrio de 100 cm ³	17 segundos
	Dewar de vidrio de 1L	62 minutos
	s.s Dewar de 1L	247 minutos

MÉTODOS DE ENSAYO DE PROCESOS QUÍMICOS

Al especificar una medida de seguridad concreta para un proceso químico, y en particular si esa medida es el venteo del reactor, se deberá diseñar teniendo en cuenta los datos cinéticos de la reacción runaway a escala industrial. Por este motivo una vez se hayan identificado los escenarios de fallo se deberán evaluar las características térmicas de la reacción (esto es, la cinética de la reacción runaway) en caso de fallo mediante ensayos de laboratorio diseñados correctamente.

Cálculos Screening

Antes de realizar una reacción química en el laboratorio es conveniente haber realizado un ejercicio de screening. Ello implica la caracterización de la estabilidad térmica y inflamabilidad de las sustancias involucradas en el proceso (reactivos e intermedios). El simple análisis visual de una estructura química o el cálculo del equilibrio de oxígeno pueden utilizarse para semi-cuantificar el riesgo de inestabilidad térmica. La comparación con sustancias similares también puede proporcionar información útil.

Existen técnicas informáticas avanzadas que permiten la evaluación de sustancias y rutas de síntesis, en términos de cambios energéticos probables. Uno de estos programas es el distribuido comercialmente por la ASTM (American Society for Testing Materials). Este programa, llamado CHETAH (Chemical Thermodynamic and Energy Release Evaluation program), utiliza el Método Benson de Contribuciones de Grupo para estimar el contenido energético de una molécula y predecir el cambio energético causado por una reacción química.

Aunque este método no sustituye los datos obtenidos de forma experimental, sí que es un muy buen método para estimar posibles descomposiciones y calores de reacción.

Ensayos screening a pequeña escala

Los ensayos screening están diseñados para proporcionar datos iniciales semi-cuantitativos sobre la estabilidad térmica de una sustancia o una mezcla reactiva. Los ensayos deberían:

- I. Poder realizarse rápidamente
- II. Requerir poca cantidad de material (< 15g nominales)
- III. Proporcionar datos fáciles de interpretar
- IV. Realizarse a pequeña escala (por razones de seguridad y debido a que las sustancias de investigación sólo están disponibles en pequeñas cantidades)

Los datos que se pueden obtener de estos ensayos son:

- I. Temperatura de activación aproximada
- II. Generación potencial de gases
- III. Datos de la magnitud de la exoterminia
- IV. Comportamiento explosivo

Normalmente se utiliza el ensayo del Tubo de Carius, que es un de análisis diferencial a gran escala con medida de presión. También pueden ser apropiados otros ensayos, como Calorimetría por escaneo diferencial (DSC) o Calorimetría de conversión acelerada (ARC).

Evaluación del proceso normal

Cuando la muestra o el sistema de reacción ya se ha caracterizado mediante un ensayo screening, se requieren técnicas calorimétricas más precisas a mayor escala para poder cuantificar el calor de reacción en condiciones controladas de laboratorio (esto es, simulando la emisión de calor del proceso normal). Combinando estos datos con otros como la capacidad calorífica, la tasa de generación de energía y la conductividad térmica, puede calcularse el aumento de temperatura adiabática a escala industrial. Adicionalmente se pueden obtener datos termoquímicos para un determinado proceso empleando diferentes concentraciones, temperaturas, cantidades, caudales de alimentación, etc. De este modo se puede optimizar el proceso, así como la caracterización térmica. Por estos motivos las técnicas calorimétricas deben ser capaces de:

- Simular el caudal de adición de los reactivos a escala normal, la temperatura del batch y los perfiles de tiempo, así como los efectos de las condiciones de proceso (por ejemplo, mezcla, destilado, etc)
- Incluir cualquier otra fuente de aporte o pérdida de calor (entrada de energía del agitador, pérdida de calor de un condensador)
- Tener en cuenta los cambios en las propiedades físicas (ej, capacidad calorífica, viscosidad, etc).
- Tener en cuenta los cambios en las propiedades de transferencia de calor debidos a los cambios en el volumen del batch, incrustaciones en las paredes del reactor, etc.

Habitualmente se utiliza una calorimetría de reacción con un fluido de transferencia de calor secundario. En Chilworth Technology utilizamos el calorímetro de reacción de Mettler Toledo RC1 para este fin.

Simulación de la Reacción Runaway

Existen muchos parámetros de un proceso químico que deben ser caracterizados, aunque los datos necesarios para calcular el total de

energía desprendida por una reacción pueden obtenerse utilizando un calorímetro de reacción. Sin embargo, estos instrumentos no proporcionan información importante que se lista a continuación:

- Inicio adiabático de la reacción.
- Datos sobre el momento en el que se da la tasa máxima (o período de inducción) anterior a la reacción runaway en condiciones adiabáticas.
- Tasa de generación de calor (esto es, la cinética de la reacción)
- Tasa de generación de gas o presión de vapor / temperatura.
- Cantidad total de gas producido o presión máxima causada por la reacción runaway en condiciones adiabáticas.

Esta información debe ser obtenida en equipos con las siguientes características:

- Tienen un factor PHI bajo (igual o menor que la del recipiente a escala industrial)
- Tienen una baja pérdida de calor (opera en modo adiabático)
- Pueden simular operaciones de planta (caudales de adición, agitación, etc)
- Es capaz de mantener su integridad a altas presiones.

Un excelente dispositivo para determinar este tipo de datos es el Calorímetro Adiabático ADCII. Está equipado con los elementos necesarios para alimentar reactivos, agitar de forma mecánica, y simular las condiciones de pérdida de calor asociadas a recipientes de 20m³. Otras técnicas apropiadas pueden ser la calorimetría de compensación de presión y la ARC™.

SELECCIÓN DE MEDIDAS DE SEGURIDAD

Cuando se descubre que un proceso puede tener asociado un peligro derivado de una reacción química es necesario seleccionar una base sobre la cual se pueda garantizar el desarrollo seguro del proceso. El procedimiento de selección conlleva una cuidadosa consideración de los peligros potenciales: cómo puede generarse el peligro, cuál es el peor escenario posible, cuáles son las consecuencias del peligro y cómo se pueden evitar o aportar protección frente a los posibles efectos adversos.

Para asegurar un diseño seguro se deberán prever medios de prevención o de protección. Los métodos disponibles para prevenir una reacción runaway son:

- Procesos inherentemente seguros.
- Medidas de control de procesos de alta integridad.

Los métodos disponibles para proteger frente a una reacción runaway son:

- Confinamiento
- Enfriamiento rápido
- Dumping / Quenching
- Inhibición de la reacción.
- Venteo del reactor.

Siempre que sea posible se deben evitar los procesos en batch. Los procesos en semi-batch permiten disponer de medios para detener la adición de los reactivos en caso de fallo en la operación, evitándose la presencia de la totalidad de los reactivos en el interior del recipiente. Los procesos en continuo son menos propensos a causar riesgos puesto que en un determinado instante de tiempo sólo está presente una cantidad limitada de cada reactivo. En general, los procesos en continuo son sólo viables para la fabricación de productos químicos en grandes cantidades, por lo que se recomiendan los procesos en semi-batch.

También es importante proteger el reactor frente a eventos no específicos, como por ejemplo un fallo en una línea de alimentación de gas que pudiera provocar un aumento de la presión, o un incendio exterior. De todas maneras, un sistema de descarga diseñado para proteger el reactor frente estos dos eventos es rara vez suficiente para protegerlo frente a una reacción runaway.

Es necesario tener siempre en cuenta que:

"Una base de seguridad debería ser definitiva y tener una fiabilidad demostrable en el peor de los casos de fallo que pueda darse en un proceso"

Una base de seguridad que no haya sido probada o que se base en suposiciones no es segura.

RESUMEN

Seleccionar la Base de Seguridad apropiada requiere conocimientos tanto de las técnicas disponibles como de sus limitaciones, así como de las limitaciones impuestas por la planta de fabricación. Ello sólo puede conseguirse mediante la realización de una correcta evaluación de riesgos del proceso químico de fabricación.

El empresario debe ser consciente de que sea cual sea la Base de Seguridad elegida, el análisis de riesgos debe demostrar que los riesgos y peligros están controlados de manera eficaz, y que las medidas de control para conseguirlo son pragmáticas en su enfoque. Debe poder demostrar cómo se obtuvieron los datos de la reacción y cómo se llevó a cabo la ingeniería de planta para controlar cualquier presión o descarga que pudiera ser causada por una reacción descontrolada.

NOMENCLATURA

ΔH_r	Calor de reacción	KJ.mol^{-1}
ΔT_{ad}	Aumento de temperatura adiabático	K
A	Factor de frecuencia pre -exponencial	s^{-1}
A	Área de transferencia de calor	m^2
C_p	Capacidad calorífica específica	$\text{KJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
dQ/dt	Tasa de generación de calor o capacidad de enfriamiento	W
E	Energía de activación	J.mol^{-1}
K	Constante cinética	mol.seg^{-1}
M	Moles de reactivos	Mol
m	Masa	Kg
R	Constante universal de los gases	$\text{J.k}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
T	Temperatura	K
U	Coefficiente global de transferencia de calor	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Muchos de los procesos químicos existentes podrían desarrollarse de forma mucho más eficiente con un mejor rendimiento, calidad y velocidad. Nuestra experiencia demuestra que es perfectamente posible alcanzar estos objetivos sin comprometer la seguridad o incrementar el impacto ambiental. Las empresas deberían aprovecharse de las ventajas de estas oportunidades para alcanzar beneficios económicos y una mayor competitividad. Sin embargo, en ocasiones este potencial de mejora no se aprovecha por las siguientes razones:

- La falsa creencia de que los costes serán superiores a los beneficios.
- Falta de recursos o disponibilidad de tiempo propio para desarrollar la solución más adecuada internamente.
- Falta de equipamiento especializado para ensayar nuevas vías o cambios de proceso.
- Implicaciones en la Seguridad de los cambios de procesos.
- Excesiva familiaridad con los procesos existentes, de tal manera que las alternativas puede que no sean ni consideradas.

CÓMO PUEDE AYUDAR CHILWORTH?

Con una gran experiencia en los sectores químico, petroquímico y farmacéutico, conocimientos técnicos avanzados y un equipo altamente especializado proporcionamos soluciones adaptadas, combinando datos experimentales de ensayos en laboratorio con consejo experto de consultoría mediante los siguientes servicios:

- Identificación y Evaluación de Riesgos en Procesos
- Ensayos screening de estabilidad térmica y cálculos termoquímicos.
- Calorimetría de reacción incluyendo presión elevada y con reflujo.
- Calorimetría adiabática y simulación de runaway.

SOLUCIONES DE INGENIERÍA

- Selección y especificación de medidas de seguridad.
- Diseño de venteos de emergencia (metodología DIERS)
- Inhibición de reacción.
- Dimensionado de separadores líquido / gas y enfriadores.
- Estudios de emisiones al medioambiente

ENSAYOS DE LABORATORIO

- Calorimetría Adiabática Dewar
- Calorimetría de tasa acelerante (ARC)
- Calorimetría de Reacción mediante el equipo Mettler RC1TM
- Tubo de Carius
- Calorimetría Diferencial Adiabática (DSC)
- Mediciones de la tasa de evolución de gases
- Espectrometría de masa
- Evaluación de materiales altamente energéticos
- Manipulación de materiales tóxicos y altamente activos
- Ensayos de estabilidad térmica (célula térmica y ensayo de cestas) usados para extrapolar los límites térmicos de instalaciones de almacenamiento a gran escala.